

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Snížení tepelné ztráty rodinného domu

Thermal Losses Reduction of Family House

Student:

Radim Brhel

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Radim Janalík, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Brhel**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: **Snížení tepelné ztráty rodinného domu**
Thermal Losses Reduction of Family House

Zásady pro vypracování:

- a) textová část
Výpočet tepelné ztráty stávajícího rodinného domu
Rešerše tepelných izolací a vlastností oken
Návrh možností snížení tepelných ztrát rodinného domu
Tepelné a ekonomické zhodnocení navržených úprav
- b) Grafická část
Porovnání původní a snížené tepelné ztráty
Porovnání provozních nákladů na vytápění před a po snížení tepelné ztráty

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NOVÁK, J.. *Úspory energie v rodinných domech a bytech*. Grada Publishing, Praha 1999
- [2] MRÁZEK, K.. *Moderní vytápění bytů a rodinných domů*. Praha: SNTL, 1986.
- [3] ŘEHÁK, J., JANOUŠ, A.. *Tepelné ztráty budov a možnosti jejich zmenšování*. Praha, 1985.
- [4] HUMM, O.. *Nízkoenergetické domy*. Praha: Grada, 1999.
- [5] NOŽIČKA, J.. *Termomechanika*. ČVUT Praha, 2001.
- [6] ČSN 06 0210: *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*, 1994
- [7] ČSN 73 5040: *Tepelná ochrana budov. Část 1 – 4*, 1994
- [8] Internet, informační servery o snižování tepelných ztrát

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010


prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2010


.....

Radim Brhel

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souladem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....20.5.2010

Adresa trvalého pobytu:

Radim Brhel

Uherský Brod

Větrná 1407

okr. Uherské Hradiště

688 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BRHEL, R. *Snížení tepelné ztráty rodinného domu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2010, 44 s. Vedoucí práce: Ing. Janalík, R. CSc.

Tématem bakalářské práce je návrh snížení tepelných ztrát rodinného domu. V úvodu je spočtena tepelná ztráta stávajícího rodinného domu. Pozornost je věnována také různým typům tepelných izolací a tepelných vlastností oken. V práci jsou popsány možnosti umístění tepelné izolace, jejich výhody či nevýhody. V další části je vypočtena tepelná ztráta rodinného domu po použití tepelných izolantů. Práce se zabývá především tepelným a ekonomickým zhodnocením navržených úprav. Dále pak porovnáním původní a snížené tepelné ztráty v rodinném domě.

ANNOTATION OF MASTER THEMIS

BRHEL, R. *Thermal Losses Reduction of Family House: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2010, 44 p. Thesis head: Ing. Janalík, R. CSc.

The main topic of bachelor thesis is suggestion of thermal losses reduction of family house. There is calculated the thermal loss of family house in the exordium. We also give attention to different types of thermal isolations and thermal properties of windows. In the thesis are described possibilities of situate the thermal isolation, their advantages and disadvantages. In the next part of thesis is calculated thermal loss of family house after using thermal isolation. Priority of thesis is thermal and economic appreciation of calculated and designed solutions. In other part we are also comparing primary original values and new-calculated lowered thermal losses in the family house.

Obsah bakalářské práce

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK	7
1. VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY STÁVAJÍCÍHO RODINNÉHO DOMU.....	9
1.1 TEORIE VÝPOČTU TEPELNÝCH ZTRÁT	9
1.2 POPIS RODINNÉHO DOMU	11
1.3 TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA STĚNOU	11
1.4 TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA PŘES STROP.....	13
1.5 TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA PŘES PODLAHU	14
1.6 TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA PŘES OKNA A DVEŘE.....	16
1.7 TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM	17
1.8 CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA.....	19
2. REŠERŠE TEPELNÝCH IZOLACÍ A VLASTNOSTÍ OKEN	20
2.1 VYUŽITÍ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ VE STAVBÁCH.....	20
2.2 TEPELNĚ IZOLAČNÍ MATERIÁLY	21
2.3 DRUHY OKEN PODLE MATERIÁLU	25
3. NÁVRH MOŽNOSTÍ SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT RODINNÉHO DOMU.....	28
3.1 SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT OBVODOVÝCH ZDÍ	28
3.2 SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT PŘES STROP	30
3.3 SNÍŽENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT PŘES PODLAHU	31
3.4 VÝMĚNA OKEN A DVEŘÍ.....	33
3.5 TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM	35
3.6 CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA.....	36
4. TEPELNÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH ÚPRAV	37
4.1 MNOŽSTVÍ TEPLA ZA ROK STÁVAJÍCÍHO DOMU	37
4.2 MNOŽSTVÍ TEPLA ZA ROK NOVĚ ZATEPLENÉHO DOMU	38
5. POROVNÁNÍ PŮVODNÍ A SNÍŽENÉ TEPELNÉ ZTRÁTY	39
6. POROVNÁNÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ PŘED A PO SNÍŽENÍ TEPELNÉ ZTRÁTY	40
7. ZÁVĚREČNÉ SHRUTÍ.....	41
8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	42
9. PŘÍLOHY	44

Seznam použitého značení a zkratek

Q_c	–	Celková tepelná ztráta	[W]
Q_p	–	Tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
Q_v	–	Tepelná ztráta větráním	[W]
Q_z	–	Trvalý tepelný zisk	[W]
Q_o	–	Základní tepelná ztráta	[W]
p_1	–	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[-]
p_2	–	Přirážka na urychlení zátoku	[-]
p_3	–	Přirážka na světovou stranu	[-]
S	–	Plocha ochlazované části konstrukce	[m ²]
k	–	Součinitel prostupu tepla	[(W/m ² .K)]
t_i	–	Vnitřní teplota v místnosti	[°C]
t_e	–	Výpočtová teplota venkovního prostředí	[°C]
A	–	Celková plocha konstrukcí ohraničujících místností	[m]
l	–	Tloušťka vrstvy	[m]
λ	–	Součinitel tepelné vodivosti	[s ⁻¹]
S_s	–	Plocha stěny	[m ²]
S_o	–	Plocha otvoru stěny	[m ²]
l_v	–	Vnitřní délka stěny	[m]
h	–	Konstrukční výška patra	[m]
l_o	–	Délka otvoru	[m·s ⁻¹]
h_o	–	Výška otvoru	[m·s ⁻¹]
V_v	–	Objemový tok větracího vzduchu	[m]
i_{LV}	–	Součinitel spárové průvzdušnosti	[(m ³ /m.s.Pa ^{-0,67})]
L	–	Délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří	[m]
B	–	Charakteristické číslo budovy	[Pa ^{-0,67}]
M	–	Charakteristické číslo místnosti	[-]
V_m	–	Objem místnosti	[m ³]
μ	–	Faktor difúzního odporu	[-]
c	–	Měrná tepelná kapacita	[(J/kg.K)]
ε	–	Emisivita	[m]
τ	–	Světelná propustnost	[-]
d	–	Tloušťka mezery	[m]
k_r	–	Korekční činitel rámu	[-]
g	–	Solární faktor	[-]

k_g	–	Součinitel prostupu tepla sklem	[(W/m ² .K)]
k_w	–	Součinitel prostupu tepla oknem	[(W/m ² .K)]
t_{is}	–	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{es}	–	Průměrná teplota během otopného období	[°C]
e_i	–	Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	[-]
e_t	–	Snížení teploty v místnosti během dne respektive noci	[-]
e_d	–	Zkrácení doby vytápění v objektu s přestávkami provozu	[-]
ε_o	–	Opravný součinitel	[-]
D	–	Denostupně	[K.dny]
$Q_{VYT,r}$	–	Potřeba tepla pro vytápění	[m]
η_o	–	Účinnost obsluhy resp. Možnosti regulace soustavy	[%]
η_r	–	Účinnost rozvodu vytápění	[%]
UV	–	Ultrafialové záření	
XPS	–	Extrudovaný polystyren	
EPS	–	Pěnový polystyren	
PUR	–	Pěnový polyuretan	
cca	–	Přibližně	
$např.$	–	Například	
$atd.$	–	A tak dále	
$obr.$	–	Obrázek	

1. Výpočet tepelné ztráty stávajícího rodinného domu

1.1 Teorie výpočtu tepelných ztrát

Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta Q_c [1] je dána součtem tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi a tepelné ztráty větráním snižená o trvalé tepelné zisky. Výpočet je podle vztahu:

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde:

Q_p je tepelná ztráta prostupem tepla, [W]

Q_v tepelná ztráta větráním, [W]

Q_z trvalý tepelný zisk. [W]

Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla Q_p [1] se určí ze vztahu:

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (2)$$

kde:

Q_o je základní tepelná ztráta prostupem tepla, [W]

p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí, [-]

p_2 přírážka na urychlení zátoku, [-]

p_3 přírážka na světovou stranu. [-]

Základní tepelná ztráta Q_o je dána součtem tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi ohraničujícími vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od sousední místnosti s nižší teplotou. Vypočte se ze vztahu:

$$Q_o = k_1 \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{e1}) + k_2 \cdot S_2 \cdot (t_i - t_{e2}) + \dots + k_n \cdot S_n \cdot (t_i - t_{en}) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

kde:

S_1, S_2, \dots, S_n je plocha ochlazované části konstrukce, [m²]

k_1, k_2, \dots, k_n součinitel prostupu tepla, [(W/m²·K)]

t_i vnitřní teplota v místnosti, [°C]

$t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{en}$ výpočtová teplota venkovního prostředí. [°C]

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí p_1 [1] umožňuje zvýšení teploty vnitřního vzduchu tak, aby i při nižší povrchové teplotě ochlazovaných konstrukcí bylo ve vytápěné místnosti dosaženo požadované výpočtové vnitřní teploty. Stanoví se ze vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad [(W/m^2 \cdot K)] \quad (4)$$

kde:

Průměrný součinitel prostupu tepla k_c všech konstrukcí dané místnosti se stanoví ze vztahu:

$$k_c = \frac{Q_o}{\sum A \cdot (t_i - t_e)} \quad [(W/m^2 \cdot K)] \quad (5)$$

kde:

$\sum A$ je celková plocha konstrukcí ohraničujících místnost, [m²]

t_i výpočetní teplota vnitřní, [°C]

t_e výpočetní teplota vnější, [°C]

Přirážka na urychlení zátoku p_2 [1]

S touto přirážkou počítáme pouze v případě, kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění.

Přirážka na světovou stranu p_3 [1]

O výši této přirážky rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce. Při více ochlazovaných konstrukcích rozhoduje poloha jejich společného rohu. Hodnoty p_3 jsou v tabulce 1.

Tabulka 1. – přirážka na světovou stranu [1]

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přirážka	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Při výpočtu otopného systému je výsledkem hodnota pro tepelnou ztrátu prostupem tepla Q_p (W), kde se počítá s přirážkami a vnější výpočtovou teplotou za otopné období. Jelikož se v práci zaměřuji na snížení tepelných ztrát rodinného domu při aktuální průměrné venkovní teplotě, tak počítám se základní tepelnou ztrátou prostupem tepla Q_o (W).

1.2 Popis rodinného domu

Rodinný dům, u kterého snižuji tepelné ztráty, se nachází v obci Bánov nedaleko od Uherského Brodu. Leží při místní komunikaci ve středu obce. Dům byl postaven jako přízemní, nepodsklepený s půdou neobydlenou. Byl postaven tehdy tradičním způsobem, zdící materiál převládá pálená cihla tloušťky 45cm. Popis jednotlivých vrstev konstrukcí a jejich tloušťka, jsou napsány v tabulkách 2,4,6,8. Rodinný dům má jednu bytovou jednotku skládající se z ložnice, obývacího pokoje, koupelny, spíže, záchodu a před síně. Údaje rozměrů místností jsou uvedeny v tabulkách 3,5,7,9,10. Tloušťky vrstev a složení jsem použil z literatury [2].

1.3 Tepelná ztráta prostupem tepla stěnou

Složení obvodových zdí

Tabulka 2. Vrstvy obvodových zdí [2], součinitel tepelné vodivosti [3]

	Jednotlivé vrstvy	l [m]	λ [(W/m.K)]
1.	Omítka vápenná vnitřní	0,01	0.7
2.	Zdivo z plných pálených cihel	0,45	0.86
3.	Omítka vápenná vnější	0,02	0.87

kde:

l je tloušťka vrstvy, [m]

λ součinitel tepelné vodivosti. [(W/m.K)]

Pro návrh otopného systému rodinného domu se počítá s venkovní návrhovou teplotou v zimním období, která je -12°C . Topným systémem se v mé práci nebudu zabývat a tak pro vnější teplotu jsem zvolil průměrnou venkovní teplotu v otopném období, která je $3,2^{\circ}\text{C}$. Hodnota průměrné teploty v otopném období je použita z literatury [4]. Vnitřní teplota v místnostech je kvůli tepelné pohodě v každé místnosti různá. Teplota vnitřní výpočtová je použita z literatury [3].

Výpočet součinitele prostupu tepla k [1],

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [(\text{W}/\text{m}^2.\text{K})] \quad (6)$$

Po dosazení dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,45}{0,86} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{1}{23}} = 1,37 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{es}) = 1,37 \cdot 28,2 \cdot (20 - 3,2) = 649 \text{ W}$$

$$S_1 = S_s - S_o = l_v \cdot h - l_o \cdot h_o = 9,5 \cdot 3,25 - (1,48 \cdot 1,81) = 28,2 \text{ m}^2$$

kde:

S_s je plocha stěny, [m²]

S_o plocha otvoru stěny, [m²]

l_v vnitřní délka stěny, [m]

h konstrukční výška patra, [m]

l_o, h_o délka a výška otvoru, [m]

t_{es} průměrná venkovní teplota v otopném období. [°C]

Tabulka 3. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S_s [m ²]	S_o [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q_o [W]
1.	ložnice	20	3,2	30,87	2,67	1,37	649
2.	obývací pokoj	20	3,2	32,17	2,67	1,37	678
3.	koupelna	24	3,2	8,77	1,74	1,37	200
4.	spíž	15	3,2	12,35	0,18	1,37	196
5.	kuchyň	20	3,2	11,86	1,74	1,37	232
6.	WC	15	3,2	13,97	0,18	1,37	222
7.	předsíň	15	3,2	12,35	1,8	1,37	170

Základní tepelná ztráta prostupem tepla Q_o pro všechny místnost se vypočte jako součet tepelných ztrát jednotlivými místnostmi. Hodnoty tepelných ztrát jednotlivými místnostmi jsou uvedeny v tabulce 3.

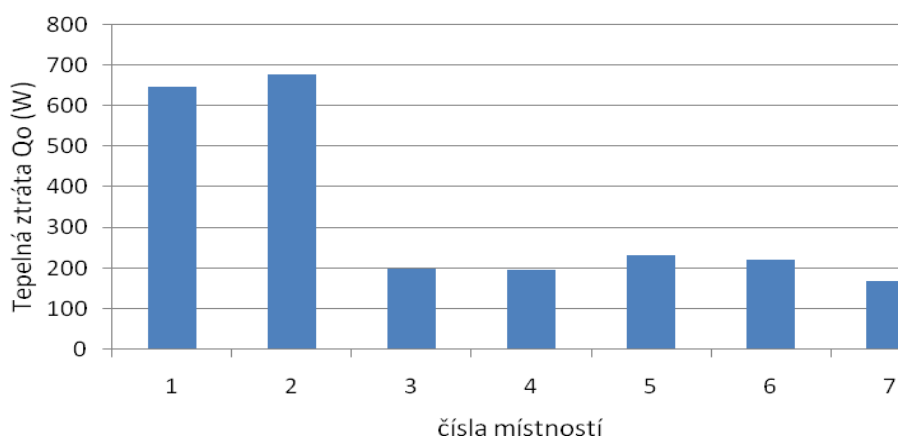
tedy:

$$Q_o = \sum Q_{o,n} + \dots + Q_{o,n+1} \quad [\text{W}] \quad (7)$$

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 649 + 679 + 200 + 196 + 232 + 222 + 170 = 2348 \text{ W}$$

Graf 1. Tepelné ztráty obvodovými stěnami v místnostech



1.4 Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop

Tabulka 4. Složení stropu [2], součinitel tepelné vodivosti [3]

	Jednotlivé vrstvy	l [m]	λ [(W/m.K)]
1.	Omítka vápenná vnitřní	0,01	0.7
2.	železobeton	0,25	1,279
3.	škvára	0,19	0.27

Výpočet součinitele prostupu tepla k

Dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,19}{0,27} + \frac{0,25}{1,279} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{1}{23}} = 0,92 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 0,92 \cdot 22,56 \cdot (20 - 3,2) = 348 \text{ W}$$

Tabulka 5. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q _o [W]
1.	Ložnice	20	3,2	22.56	0,92	348
2.	obývací pokoj	20	3,2	24.48	0,92	378
3.	Koupelna	24	3,2	6,21	0,92	118
4.	Spíž	15	3,2	3,45	0,92	37
5.	Kuchyň	20	3,2	15,33	0,92	236
6.	WC	15	3,2	4,2	0,92	45
7.	Předsín	15	3,2	5,26	0,92	57

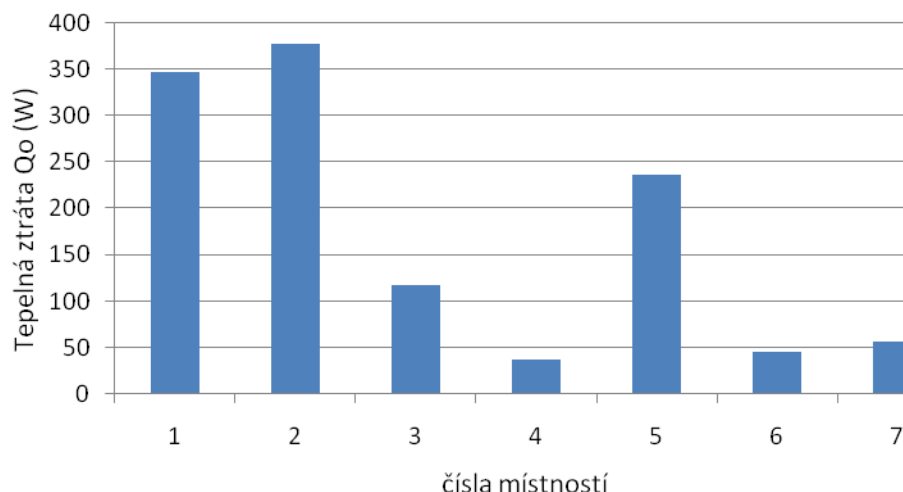
Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop se vypočte stejně jako u stěny. Jednotlivé tepelné ztráty jsou uvedeny v tabulce 5.

Dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 348 + 378 + 118 + 37 + 236 + 45 + 57 = 1219W$$

Graf 2. Tepelné ztráty přes strop v místnostech



1.5 Tepelná ztráta prostupem tepla přes podlahu

Tabulka 6. Složení podlahy [2], součinitel tepelné vodivosti [3]

	Jednotlivé vrstvy	l [m]	λ [(W/m.K)]
1.	beton	0.3	1.28
2.	asfaltová hydroizolace	0.001	0.07
3.	cementový potěr	0.035	1.3
4.	škvára	0.07	0.27
5.	betonová zálivka	0.08	1.2
6.	dřevotřískové desky	0.015	0.085

Výpočet součinitele prostupu tepla k

Dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,3}{1,28} + \frac{0,001}{0,07} + \frac{0,035}{1,3} + \frac{0,07}{0,27} + \frac{0,08}{1,2} + \frac{0,015}{0,085} + \frac{1}{6}} = 0,93W / m^2 K$$

Vzorový výpočet pro místnost 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 0,93 \cdot 22,56 \cdot (20 - 5) = 314W$$

Tabulka 7. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q_o [W]
1.	ložnice,	20	5	22,56	0,93	314
2.	obývací pokoj	20	5	24,48	0,93	341
3.	Koupelna	24	5	6,21	0,93	110
4.	Spíž	15	5	3,45	0,93	32
5.	Kuchyň	20	5	15,33	0,93	214
6.	WC	15	5	4,2	0,93	39
7.	Předsíň	15	5	15,34	0,93	143

U podlahy se počítá s vnější výpočtovou teplotou 5°C [1].

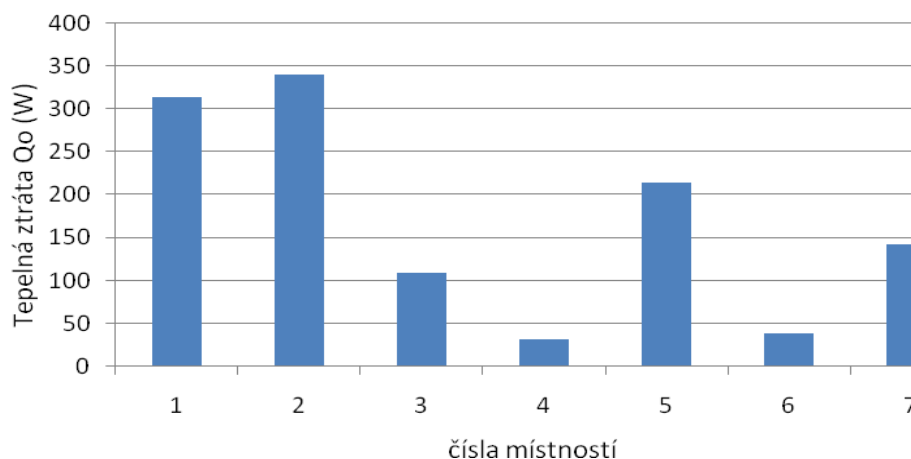
Tepelná ztráta prostupem tepla přes strop se vypočte stejně jako u stěny. Jednotlivé tepelné ztráty jsou uvedeny v tabulce 7.

Dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 314 + 341 + 110 + 32 + 214 + 39 + 143 = 1193W$$

Graf 3. Tepelné ztráty přes podlahu v místnostech



1.6 Tepelná ztráta prostupem tepla přes okna a dveře

Konstrukce oken a dveří

Tabulka 8. Typy oken a dveří [2], součinitel tepelné vodivosti [3]

	Typy konstrukcí	k [(W/m ² .K)]
1.	dveře domovní s jedním sklem	4,7
2.	okna dřevěná jednoduchá se zdvojeným sklem, mezera > 10mm	3,3

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 3,3 \cdot 2,67 \cdot (20 - 3,2) = 148W$$

Tabulka 9. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

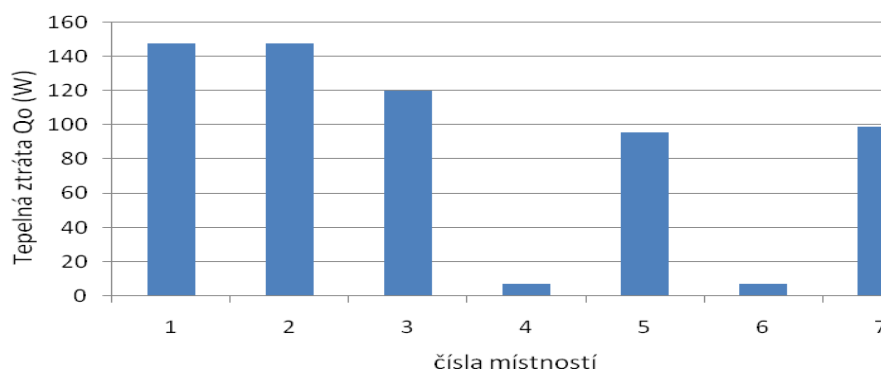
	Místnost	t _i [°C]	t _{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q _o [W]
1.	Ložnice	20	3,2	2,67	3,3	148
2.	Obývací pokoj	20	3,2	2,67	3,3	148
3.	Koupelna	24	3,2	1,76	3,3	120
4.	Spíž	15	3,2	0,18	3,3	7
5.	Kuchyň	20	3,2	1,74	3,3	96
6.	WC	15	3,2	0,18	3,3	7
7.	Předsíň	15	3,2	1,8	4,7	99

Tepelná ztráta přes okna a dveře se vypočítá obdobně jako u stěny, podlahy a stropu. Jednotlivé hodnoty tepelných ztrát jsou uvedeny v tabulce 9.

Dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7} = 148 + 148 + 120 + 7 + 96 + 7 + 99 = 625W$$

Graf 4. Tepelné ztráty přes okna a dveře v místnostech



1.7 Tepelná ztráta větráním

Vzorový výpočet pro místnost 1.

Tepelná ztráta se vypočítá podle tohoto vzorce [1]:

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_{es}) = 1300 \cdot 0,00493 \cdot (20 - 3,2) = 107W \quad (8)$$

kde:

V_v objemový tok větracího vzduchu, [m^3/s]

t_i teplota vnitřní, [$^{\circ}C$]

t_e teplota vnější, [$^{\circ}C$]

Při přirozeném větrání infiltrací se objemový tok větracího vzduchu stanoví ze vztahu:

$$V_{vp} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = (0,00019 \cdot 9,54) \cdot 4 \cdot 0,7 = 0,00507 m^3 / s \quad (9)$$

kde:

i_{LV} součinitel spárové průvzdušnosti, [$(m^3/m.s.Pa^{-0,67})$]

L délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří, [m]

B charakteristické číslo budovy, [$Pa^{-0,67}$]

M charakteristické číslo místnosti. [-]

Hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti oken a venkovních dveří jsou uvedeny v literatuře [5]. Celkovou délku spár uvažujeme jako součet spár mezi jednotlivými křídly a rámem (včetně středního sloupku). Dle literatury [1] stanovíme charakteristické čísla budovy a místnosti.

Kontrola intenzity výměny vzduchu infiltrací:

$$n = \frac{3600 \cdot \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M}{V_m} = \frac{3600 \cdot 0,00019 \cdot 9,54 \cdot 4 \cdot 0,7}{49,39} = 0,36 h^{-1} \quad (10)$$

Je to z hygienického hlediska málo a je potřeba větrat, tak aby intenzita výměny vzduchu n byla nejméně $0,5 h^{-1}$.

Pak se objemový tok větracího vzduchu vypočte ze vztahu:

$$V_{oH} = \frac{n}{3600} \cdot V_m = 0,00493 m^3 / s \quad (11)$$

kde:

V_m je objem místnosti. [m^3]

Tabulka 10. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

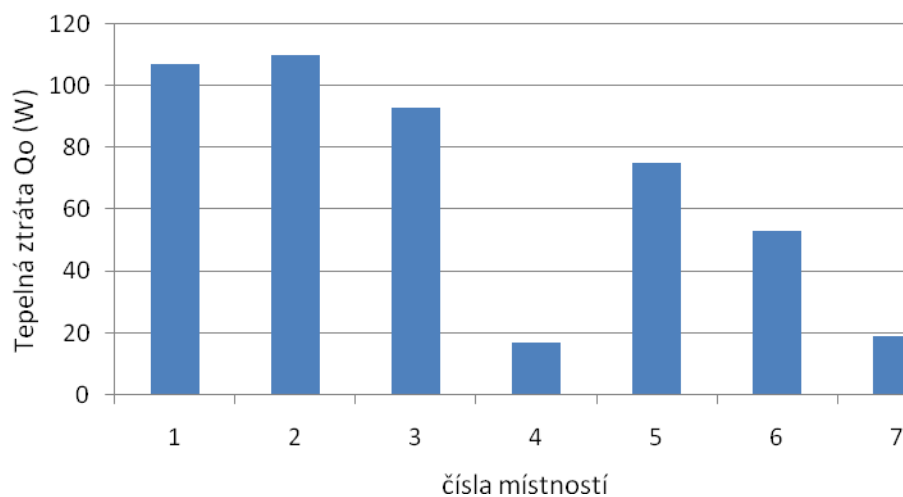
	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	V_m [m ³]	Q_v [W]
1.	ložnice	20	3,2	49,39	107
2.	Obývací pokoj	20	3,2	54,09	110
3.	koupelna	24	3,2	12,6	93
4.	spíž	15	3,2	5,04	17
5.	kuchyň	20	3,2	34,77	75
6.	předsíň	15	3,2	26,71	53
7.	WC	15	3,2	5,92	19

Tepelná ztráta větráním se vypočítá obdobně jako u stěny, podlahy a stropu. Jednotlivé hodnoty tepelných ztrát jsou uvedeny v tabulce 10.

Dle vzorce (7)

$$Q_v = Q_{v1} + Q_{v2} + Q_{v3} + Q_{v4} + Q_{v5} + Q_{v6} + Q_{v7} = 107 + 110 + 93 + 17 + 75 + 53 + 19 = 474W$$

Graf 5. Tepelné ztráty větráním v místnostech



Tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100W/byt), teplo od lidí (70W/osobu). Odhadem podle literatury [6] jsem určil tepelný zisk 170 W.

1.8 Celková tepelná ztráta

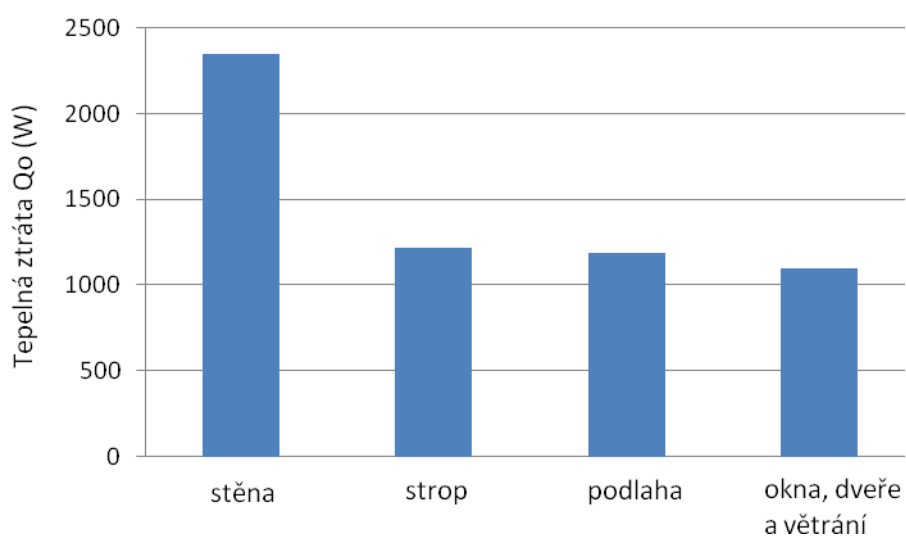
Celková tepelná ztráta Q_c se vypočítá součtem tepelných ztrát prostupem Q_o a tepelných ztrát větráním Q_v , hodnota je snížena o trvalé tepelné zisky Q_z [1].

Dle vzorce (1)

$$Q_c = \sum (Q_{o.obvodovézdi} + Q_{o.stropu} + Q_{o.podlahy} + Q_{o.okna,dveřv}) + Q_v - Q_z$$

$$Q_c = \sum (2348 + 1219 + 1193 + 625) + 474 - 170 = 5689W$$

Graf 6. Tepelné ztráty stávajícího domu



Výpočtové vztahy (1÷11) uvedené v této kapitole jsou převzaty z literatury [1].

2. Rešerše tepelných izolací a vlastností oken

2.1 Využití izolačních materiálů ve stavbách

Materiál pro tepelné izolace [7] je hlavní materiálovou složkou, jenž se podílí na tepelně technickém chování domu, hlavně u tepelných ztrát objektu.

V dnešní době je snaha, aby stavby dosahovaly co nejmenší tepelné ztráty a tím vzniklé nízké spotřeby energie na vytápění objektu. Vhodným výběrem izolačního materiálu i aplikací hodně ovlivníme úroveň kvality celého domu.

Tepelné izolace tvoří bariéru, která zabraňuje úniku či vniknutí tepla a to všemi částmi stavby. Částmi stavby rozumíme podlahy, stěny, stropy či střechy. Aby vše fungovalo tak jak má, je důležité vybrat správný typ izolace a dbát na přesné a pečlivé provedení.

Izolace udržují teplo v domě, na druhé straně, jejichž prostřednictvím bráníme také přehřívání interiéru v letním období. Mají nízký stupeň tepelné vodivosti, mohou fungovat i jako izolace akustické.

Podle druhu hlavních vstupních surovin můžeme izolační materiály rozdělit na minerální vláknité materiály, rostlinné materiály a pěnové materiály.

Možnosti aplikace tepelných izolací [10]:

- mechanické, je to forma mechanického spojení tepelných izolací s ostatními částmi stavby. Kotvením pomocí různých druhů kotvicích prvků, hmoždinek aj.
- sypání
- foukání
- lepení, použití lepidel jako živичných, akrylátových a pryskyřičných
- stříkání volných tepelných izolací za přidání různých pojiv a lepidel
- pění
- svíráním mezi dvě vrstvy stavební konstrukce

Podle umístění tepelně izolačních materiálů rozeznáváme [11]:

Tepelná izolace z vnější strany stávající stěny

Umístění izolace z vnější strany má četné výhody a jsou ve většině případů doporučovány. Tloušťka izolační vrstvy může být optimální, zabráníme tak vzniku tepelných mostů. Práce z vnější strany nezasahuje moc do života obyvatel domu a řešíme tím současně i renovaci fasády. Celá hmota stěn je umístěna v izolační obálce, tím dojde ke zvýšení využitelné tepelné kapacity objektu a tak omezí pokles teploty v místnostech při přestávce ve vytápění. Sníží se výrazně i přehřívání místností v letních obdobích.

Tepelná izolace z vnitřní strany

Tato izolace nese s sebou některé zásadní problémy. Tepelná izolace zamezí úniku tepla přes stěny, tím dojde k výraznému poklesu jejich teploty. Tam, kde tepelná izolace končí (stropy a podlahy, výklenky oken, vnitřní příčky) dojde na silně prochlazených místech ke kondenzaci vodní páry a vznik následných problémů (hniloba dřeva, vznik plísní, narušení materiálu stěny mrznutím vody). Dojde k silnému poklesu tepelné kapacity místnosti. Je lepší se vyhnout vnitřní izolaci, ale u některých případů není jiná možnost (např. u historických budov s památkově chráněnými fasádami). Je důležité u vnitřní izolace optimalizovat tloušťku izolace, správně navrhnout, provést parotěsnou zábranu a detaily ukončení izolace kolem podlah, oken apod.

2.2 Tepelně izolační materiály

Extrudovaný polystyren (XPS)

Tento typ polystyrenu [8], [7] je nejčastěji dodáván ve formě desek s polodrážkou nebo hranou. Používá se zejména pro izolaci soklu, dále pak při izolování základových desek či ve skladbě střech s obráceným pořadím vrstev. Důsledkem výroby je, že materiál má vysokou pevnost v tlaku a také minimální nasákavost (cca 10x méně než pěnový polystyren). Polystyren má uzavřené póry, proto je nenasákavý a můžeme jej použít ve vlhkém prostředí, kde je jako tepelná izolace a taky jako účinná součást hydroizolace. Je velmi pevný, ale je nutno chránit před UV zářením.



obr. (1)

Výhody:

- vysoká pevnost
- snadná opracovatelnost
- široká možnost použití
- lepší mechanické vlastnosti než pěnový polystyrén (EPS)
- velmi nízká nasákavost (vhodný i do míst s trvalou vlhkostí)
- nízká hmotnost
- bez objemových změn

Nevýhody:

- citlivý na vyšší teplotu (+75°C)
- citlivý na organická rozpouštědla
- neekologický materiál

- cena

Pěnový polystyren (EPS)

Pěnový polystyren EPS [8], [7] má při svých vlastnostech nízkou objemovou hmotnost. Jeho použitím se snižují náklady na manipulaci, dopravu a zatížení konstrukce. Polystyren s číslem typu (např. EPS 100) značí pevnost v tlaku v kPa. EPS je vyráběno v hodnotách 50 až 250 kPa. Při montáži se kotví buď pouze lepením, nebo mechanicky. Je vhodné použít více vrstev kladených na vazbu pro eliminaci liniových tepelných mostů na styku s konstrukcí. EPS je možné použít i jako kročejovou izolaci, nelze ho však dlouhodobě vystavit vlhku.



obr. (2)

Výhody:

- snadná opracovatelnost
- nízká hmotnost
- cena

Nevýhody:

- citlivost na teplotu ($+70^{\circ}\text{C}$), hořlavý
- stárnutí materiálu, neekologický materiál
- objemové změny, citlivý na vlhkost
- rozpustný organickými rozpouštědly
- malá odolnost v tlaku

Polyuretan (PUR)

Polyuretan [8] je materiál umělý s velmi dobrými izolačními vlastnostmi. Je používán ve formě měkké polyuretanové pěny (molitanu), anebo tvrdé polyuretanové pěny (PUR). Tvrdá polyuretanová pěna se používá výhradně ve stavebnictví. Polyuretan dobře snáší teploty mezi -50°C až 130°C .

Izolační desky z polyuretanů se při stavbě domů používají především na izolaci střech, podlah, stropů atd.



obr. (3)

Výhody:

- odolný vůči většině organických rozpouštědel
- široké možnosti použití, vysoká pevnost
- dobrá přilnavost k podkladu

Nevýhody:

- neekologický
- citlivý na UV záření
- cena

Minerální a skelná izolace

Minerální a skelná izolace [8] jsou podobné produkty. Při výrobě minerální vlny je převážně prvotní surovinou čedič. Skelná vlna je vyráběna z křemičitého písku a dalších sklotvorných přísad. Hlavní výhodou je odolnost vůči vysokým teplotám. Dále je výhodou malá tepelná roztažnost, která snižuje riziko vzniku trhlin fasád vlivem teplotních změn. Předností minerální izolace je nízký difúzní odpor. Tepelná izolace je propustná pro prostup vodní páry a dům tak může lépe „dýchat“. S těmito izolacemi se i dobře pracuje, protože se velice snadno tvarují.

Minerální a skelné izolace není vhodné používat do míst s vysokou vlhkostí. Při styku s vodou úplně ztrácejí veškeré tepelné technické parametry, což klade vysoké nároky na kvalitu provedení.



Obr. (4)

Skelná izolace

výhody:

- dobré zvukově izolační vlastnosti
- nízký difúzní odpor
- odolnost vůči vysokým teplotám (+300°C)
- malá tepelná roztažnost
- tvarovatelnost
- nehořlavé
- odolnost vůči hmyzu a hlodavcům
- široká oblast použití
- nízká hmotnost

nevýhody:

- vysoká nasákavost
- horší komfort při zabudování
- respirabilní
- cena

Minerální izolace

výhody:

- dobré zvukově izolační vlastnosti, nehořlavá
- nízký difúzní odpor, tvarovatelnost
- odolnost vůči vysokým teplotám (+300°C)
- malá tepelná roztažnost, široká oblast použití

nevýhody:

- náročné na kvalitu provedení
- horší komfort při zabudování
- vysoká nasákavost
- vyšší hmotnost, cena

Pěnové sklo

Pěnové sklo [8], [7] je ve svém celém objemu zcela vodotěsné. Je nenasákavé pro všechny kapaliny a proto se v čase nemění jeho tepelně izolační vlastnosti. Dále je zcela neprodyšné pro všechny plyny včetně vodní páry a radonu. Pěnové sklo je parotěsné stejně jako tabulové sklo a jeho koeficient difúzního odporu μ je neměřitelně vysoký (blíží se nekonečnu). Má nejvyšší pevnost v tlaku mezi tepelnými izolacemi (pevnost v tlaku 0,7 až 1,6 MPa podle typu). Také má současně vysokou tuhost a je prakticky nestlačitelné. Pěnové sklo nemění své rozměry ani tvar vlivem působení vnějšího prostředí, stlačení nebo stárnutí. Tepelná roztažnost pěnového skla je srovnatelná s betonem nebo ocelí. Je ho tedy možné celoplošně lepit ke konstrukčním materiálům a nevyžaduje vytváření speciálních dilatačních spár. Využívá se především v energeticky úsporných či pasivních domech pro izolaci spodní stavby a pro přerušení tepelného mostu, například u paty nosných stěn. Další možnosti jsou izolace podlah nebo pojízdných a pochozích střech s velmi vysokým tlakovým namáháním v průmyslových provozech, občanských stavbách, obchodních domech apod.



obr. (5)

výhody:

- vysoká pevnost v tlaku
- nenasákavé (vodotěsné)
- biologicky a chemicky odolné
- snadná opracovatelnost
- nehořlavé
- dlouhá životnost (nerozkládá se)

nevýhody:

- odolnost vůči vysokým teplotám
- velmi vysoký difúzní odpor
- nepružné
- cena

Tabulka 11. Tepelně izolační vlastnosti [8]

Materiál	Extrudovaný polystyren (XPS)	Pěnový polystyren (EPS)	Pěnový polyuretan měkký (molitan)	Pěnový polyuretan tvrdý (PUR)	Minerální vlna	Skleněná plst'	Pěnové sklo
Součinitel tepelné vodivosti λ [(W/m.K)]	0.032 - 0.035	0.039 - 0.043	0.048	0.024 - 0.032	0.054 - 0.095	0.046 - 0.05	0.06 - 0.069

Obrázky (1÷5) uvedené v této kapitole jsou převzaty z literatury [8].

2.3 Druhy oken podle materiálu

Dřevo [12] díky svým tepelně izolačním vlastnostem je vhodným materiálem pro výrobu oken. Dále jsou přednosti dřeva jeho estetické vlastnosti, reprezentované přirozenou strukturou a přírodní barvou. Nevýhodou dřeva, jako organického materiálu, je jeho nízká odolnost vůči organickým škůdcům (plísň, houby, hmyz), vlhkosti a ohni.

Plastové okenní rámové vlysy mají být vyztuženy kovovým profilem, který má antikorozi úpravu. Ke zlepšení teplo-technických vlastností vlysů se vyrábí vícekomorové systémy. V dnešní době jsou standardem tři až pět komorových profilů.

Pro zlepšení teplo-technických vlastností plastových oken přispívá i vyplnění komor profilu tepelně izolačním materiálem, např. tvrzenou polyuretanovou pěnou (PUR). Výhodou je jejich minimální náročnost na údržbu. Nevýhodou je, že jsou hermeticky uzavřená, z čehož vyplývá, že poskytují jen minimální infiltraci vzduchu, proto se doporučuje používat plastová okna s větrací štěrbínou.

Hliníkové rámové vlysy mohou být konstruovány s přerušeným nebo nepřerušeným tepelným mostem, stejně jako ocelové. Požadavky na hliníkové rámové vlysy jsou podobné jako u ocelových rámových vlysů.

Ocelové okenní rámové vlysy jsou konstruovány z uzavřených rámových profilů. Jsou s přerušením tepelného mostu nebo bez přerušení tepelného mostu.

Kombinované

Nejčastěji využívanou materiálovouází při výrobě oken je kombinace dřeva se slitinami hliníku, kdy se používají dobře materiálové vlastnosti dřeva a trvanlivost hliníkových prvků. Spodní rámový vlys je dřevěný a je opatřen hliníkovou okeničkou. Ta plní funkci překrytí styku, chrání spodní rámový vlys okna před účinky vody. Dále plní funkci odvodňovacích drážek dekompresní dutiny a tvoří dosedací drážku pro uzávěr dekompresní dutiny.

Typy zasklení

Hlavní vliv na tepelně izolační vlastnosti okna [9] má jeho zasklení, které tvoří 70 až 80 % plochy okna. Aby okno dosáhlo součinitele prostupu tepla $k_w < 0,8$ (W/m².K), musí zasklení dosáhnout hodnoty (podle rozměrů okna) $k_g < 0,6$ až 0,4 (W/m².K).

Izolační zasklení je charakterizováno koeficientem prostupu tepla $k_g < 1.15$ (W/m².K). Tuto nízkou hodnotu součinitele způsobuje vyplnění dutiny speciálním plynem a použitím skla s nízkou emisivitou.

K přenosu tepla může docházet čtyřmi způsoby:

- konvekcí v mezeře
- sáláním mezi protilehlými povrchy skel
- vedením přes plynnou výplň mezery
- vedením přes distanční profily

Výrazným snížením emisivity ε (-), lze snížit ztráty způsobené sáláním mezi protilehlými povrchy zasklení. Nízké emisivity je dosaženo tak, že povrch skel se pokryje velmi tenkou vrstvou ze stříbra a oxidů kovů. To má za výsledek, že povrch skla odráží zpět dlouhovlnné tepelné záření, takže teplo zůstává v místnosti. Tloušťka kovové vrstvy je od 0.01 do 0.10 mikrometrů, což způsobí, že téměř všechno odražené záření je omezeno na dlouhovlnné infračervené spektrum. Kovová vrstva je pro většinu viditelného světla průhledná. Zasklení tak dosahuje velmi vysoké světelné propustnosti τ (-).

Důležitým faktorem, který snižuje součinitel prostupu tepla zasklením, je druh plynu použitého k naplnění dutiny. V současnosti jsou hlavně používány vzácné plyny - Argon, Krypton, Xenon, FS6

Tabulka 12. Typy plynu [9]

plyn	λ (W/m ² .K)	k (W/m ² .K) s tloušťkou mezery d (m)		
		0,006	0,012	0,018
vzduch	0,0258	3,3	2,93	2,8
xenon	0,0054	2,75	2,59	2,56
argon	0,0173	3,04	2,75	2,66
krypton	0,0093	2,6	2,53	2,54

Izolační dvojskla

Izolační sklo [22] se skládá z dvou nebo tří tabulí plochého skla, jejichž vzdálenost je tvořena použitím různě širokého profilu. Tloušťka skla se pohybuje v rozmezí cca 16 až 30 mm. Profil se plní vysoušecím prostředkem, který zamezuje kondenzaci vlhkosti v meziskelní dutině.

Izolační skla jsou s profilem spojována trvale pružným plastickým tmelem (butil), vnější okraj se vyplňuje trvale pružným tmelem (polyuretan).

Technologie dvojího tmelení umožní vysokou odolnost skel vůči mechanickému namáhání.

Tepelná izolace je závislá na použitém druhu skla, šířce distančního rámečku a na druhu plynové výplně mezi skly. Tepelně izolační schopnost je vyjádřena hodnotou koeficient tepelného prostupu k_g ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). Výrobní technologie izolačních dvojskel umožňuje splnit vysoké požadavky kladené na světelnou propustnost.

Izolační trojskla

Zlepšením [23] izolačních schopností je dosaženo rozdělením meziskelního prostoru dvojskla další tabulí skla a přidáním pokovení do systému. Trojsklo může při optimálních šířkách a plnění kryptonem dosáhnout $k_g = 0.5$ ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). Pokovení se umístí na pozice 2 a 5. Sklo uprostřed se nepokovuje a doporučuje se kalené z důvodu tepelného namáhání při dopadu slunečního záření. Nejnevhodnější jsou potom situace, kdy je trojsklo zčásti vystaveno slunečnímu záření a částečně zastíněno.

Důležitou záležitostí je šířka zasklení. Při plnění Argonem je optimální šířka rámečků 14 a 16 mm, což způsobí nárůst šířky skla až na 40 resp. 44 mm. Silná skla jsou pro výrobce oken problematicky zasklitelná – řešením je zúžení meziskelního prostoru na 10 a 12 mm a tento naplnit kryptonem. Tak dojde ke zlepšení k_g o cca 0.1 ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), ale poměrně výrazně se sklo prodrazí.

Tabulka 13. Typy skel [9]

Číslo skla	Typ skla	Korekční činitel rámu	Solární faktor	Součinitel prostupu tepla sklem	Součinitel prostupu tepla oknem
		k_r	g	k_g	k_w
		-	-	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$
1	Izolační dvojsklo Float 4 mm-16Air-Float 4 mm	0,8	0,76	2,8	3,1
2	Izolační dvojsklo s pokovením a dutinou s argonem	0,8	0,6	1,1	1,3
3	Trojsklo s pokovením a obě dutiny plněné argonem	0,8	0,48	0,82	0,85
4	Izolační dvojsklo s fólií Heat mirror, dutina s kryptonem	0,8	0,45	0,62	0,72
5	Izolační dvojsklo s 2 fóliemi Heat mirror, dutiny s kryptonem	0,8	0,35	0,40	0,5

3. Návrh možností snížení tepelných ztrát domu

3.1 Snížení tepelných ztrát obvodových zdí

Vzhledem k narůstajícím cenám energií se doporučuje, v případě zateplování domu, aby hodnota součinitele prostupu tepla byla naplněna na hodnotu doporučenou. Doporučené a požadované hodnoty jsou uvedeny v tabulce 14. V mém případě mě zajímá hodnota doporučená pro zdivo z plných pálených cihel a to je $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabulka 14. tabulka je použita z literatury [13].

Hodnoty součinitele prostupu tepla k dle ČSN 73 0540-2		Součinitel prostupu tepla k ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	
Typ konstrukce obvodové stěny		Hodnota požadovaná	Hodnota doporučená
Vnější stěna objektu	Těžká (beton, cihla) $> 100 \text{ kg/m}^2$	0,38	0,25
	Lehká (ocelové konstrukce, lehké pláště, dřevostavby)	0,3	0,20

Obvodové zdivo z plných pálených cihel tloušťky 0,45m nesplňuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla. Dřívější normové požadavky na tepelné izolace byly nižší, než je tomu v současné době. Zateplení je tedy nutné.

Já budu volit takovou tloušťku tepelné izolace, která mi zajistí splnění doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla.

K tepelné izolaci lze použít minerální vatu, fasádní polystyren nebo extrudovaný polystyren.

Pro zlepšení tepelných vlastností rodinného domu jsem zvolil jako izolační materiál extrudovaný polystyren tloušťky 12cm. Zateplení jsem provedl z vnější strany stávající stěny. Použitím izolantu se dostanu na požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla.

Součinitel tepelné vodivosti extrudovaného polystyrenu je $0,032 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Hodnotu jsem použil z literatury [8].

Výpočet součinitele prostupu tepla:

Dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{l_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,12}{0,032} + \frac{0,45}{0,86} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{1}{23}} = 0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{es}) = 0,22 \cdot 29,44 \cdot (20 - 3,2) = 108W$$

Tabulka 15. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² ·K)]	Q_o [W]
1.	ložnice	20	3,2	29,44	0,22	108
2.	obývací pokoj	20	3,2	30,79	0,22	113
3.	koupelna	24	3,2	7,40	0,22	33
4.	spíž	15	3,2	12,70	0,22	33
5.	kuchyň	20	3,2	10,62	0,22	39
6.	WC	15	3,2	14,39	0,22	37
7.	předsín	15	3,2	11,08	0,22	28

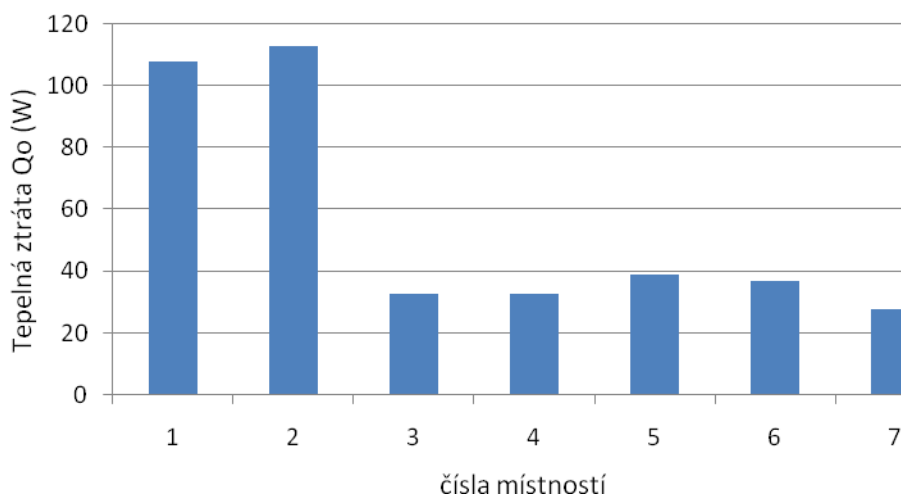
Celková tepelná ztráta po zateplení se vypočte jako součet všech vypočtených ztrát v místnostech, které jsou uvedeny v tabulce 15.

Dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 108 + 113 + 33 + 33 + 39 + 37 + 28 = 391W$$

Graf 7. Tepelné ztráty obvodových zdí v místnostech



3.2 Snížení tepelných ztrát přes strop

Pro strop pod nevytápěnou půdou je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla 0,3 (W/m².K) a doporučená hodnota, o kterou se budu v mém případě zajímat, je 0,2 (W/m².K). Hodnoty jsou použity z literatury [13].

Abych se dostal na požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla je nutno strop zateplit.

Výhodnější je vždy zateplovat z ochlazované strany, to je v mém případě nad stropem (ze strany půdy).

Postupem jak nejlépe zateplit strop je odstranění stávající škváry a nahrazením minerální vlny tloušťky 25cm a následně použitím betonové zálivky tloušťky 8cm. Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti jsou použity z literatury [8].

Výpočet součinitele prostupu tepla:

Dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{l_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,25}{1,279} + \frac{0,25}{0,054} + \frac{0,08}{1,2} + \frac{1}{23}} = 0,19 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S_1 \cdot (t_i - t_{es}) = 0,19 \cdot 22,56 \cdot (20 - 3,2) = 72 \text{ W}$$

Tabulka 16. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t _i [°C]	t _{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q _o [W]
1.	Ložnice	20	3,2	22,56	0,19	72
2.	obývací pokoj	20	3,2	24,48	0,19	78
3.	Koupelna	24	3,2	6,21	0,19	24
4.	Spíž	15	3,2	3,45	0,19	7
5.	Kuchyň	20	3,2	15,33	0,19	49
6.	WC	15	3,2	4,2	0,19	9
7.	Předsíň	15	3,2	5,26	0,19	11

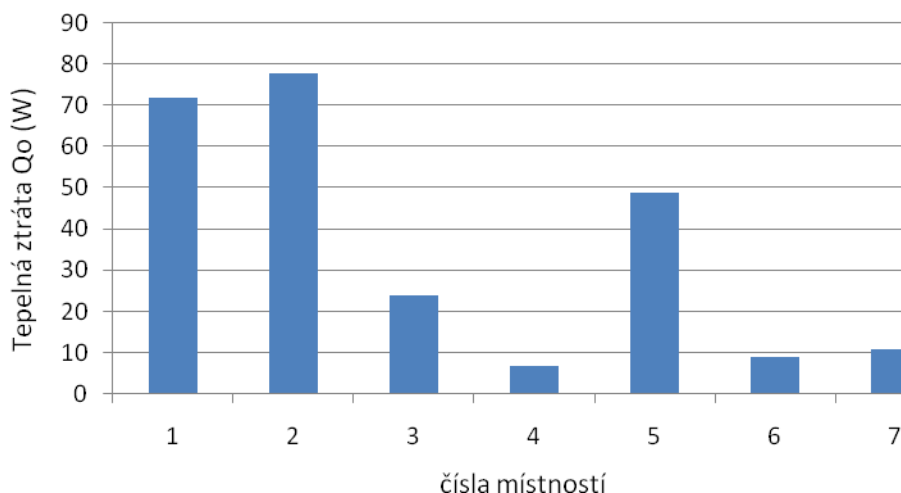
Celková tepelná ztráta po zateplení se vypočte jako součet všech vypočtených ztrát v místnostech, které jsou uvedeny v tabulce 16.

dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 72 + 78 + 24 + 7 + 49 + 9 + 11 = 250W$$

Graf 8. Tepelné ztráty přes strop v místnostech



3.3 Snížení tepelných ztrát přes podlahu

Pro podlahu přilehlá k zemině je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla 0,60 W/m².K a doporučená hodnota je 0,40 W/m².K. Hodnoty jsou použity z literatury [13].

Dosažením doporučené hodnoty jsem zvolil odstranění stávajícího šterku a přidáním izolačního materiálu. Jako izolační materiál jsem použil extrudovaný polystyren tloušťky 6cm, který má součinitel tepelné vodivosti 0,032 W/m.K a přidáním samonivelační stěrky tloušťky 0,5cm, který má součinitel tepelné vodivosti 1,2 W/m.K. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou použity z literatury [8].

Výpočet součinitele prostupu tepla:

Dle vzorce (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{l_4}{\lambda_4} + \frac{l_5}{\lambda_5} + \frac{l_6}{\lambda_6} + \frac{l_7}{\lambda_7} + \frac{1}{\alpha_e}} =$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,3}{1,28} + \frac{0,001}{0,07} + \frac{0,035}{1,3} + \frac{0,06}{0,032} + \frac{0,08}{1,2} + \frac{0,0005}{1,2} + \frac{0,015}{0,085} + \frac{1}{6}} = 0,37W / m^2K$$

Vzorový výpočet pro místnost 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 0,37 \cdot 22,56 \cdot (20 - 5) = 125W$$

Tabulka 18. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S [m ²]	k [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Q_o [W]
1.	Ložnice	20	5	22,56	0,37	125
2.	obývací pokoj	20	5	24,48	0,37	135
3.	Koupelna	24	5	6,21	0,37	43
4.	Spíž	15	5	3,45	0,37	12
5.	Kuchyň	20	5	15,33	0,37	85
7.	WC	15	5	4,2	0,37	15
8.	Předsíň	15	5	15,34	0,37	56

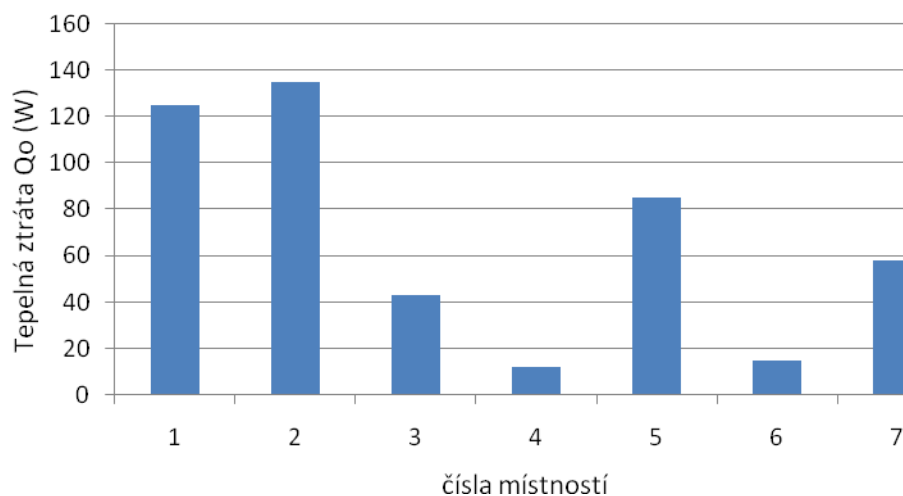
Celková tepelná ztráta po zateplení se vypočte jako součet všech vypočtených ztrát v místnostech, které jsou uvedeny v tabulce 18.

dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7}$$

$$Q_o = 125 + 135 + 43 + 12 + 85 + 15 + 58 = 473W$$

Graf 9. Tepelné ztráty přes podlahu v místnostech



3.4 Výměna oken a dveří

Nedostačující výplně okenních a dveřních otvorů [14] mohou převážně za největší úniky tepla z domu. Mají zabránit zbytečným únikům tepla, ale také plní funkci estetickou. Jsou také prostředkem pro přivádění světla dovnitř domu a také při výměně vzduchu za čerstvý z venkovního prostředí. Je tedy výměna oken a dveří nutná ke snížení úniku energie.

Výměna oken

Při výběru oken [14] je potřeba dbát zvýšené pozornosti na poměr pevných a otvíratelných částí, na způsobu členění oken, konstrukčním řešením rámu, použitém materiálu, druhu skleněné výplně, způsobu zastínění oken, životnost a uživatelskou pohodlnost a spolehlivost.

Pro okna je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla $1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a doporučená je $1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Hodnoty jsou použity z literatury [13].

K zlepšení tepelných vlastností domu jsem použil, pro výměnu oken, okno plastové s trojsklem s pokovením a obě dutiny plněné argonem, se součinitelem prostupu tepla $0,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Hodnota součinitele prostupu tepla je použita z literatury [9].

Vzorový výpočet pro místnost 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 0,85 \cdot 2,67 \cdot (20 - 3,2) = 38 \text{ W}$$

Výměna dveří

Dveře vchodové [14] mají plnit funkci estetickou, ale hlavně funkci funkční. Měly by být snadné na ovládání a také poskytovat velkou bezpečnost před nežádoucím vniknutím do objektu.

Pro vchodové dveře je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla $3,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a doporučená je $2,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Hodnoty jsou použity z literatury [13].

Pro snížení tepelných ztrát rodinného domu jsem použil dveře ALBO DV 68 Family se součinitelem prostupu tepla $1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Typ dveří se součinitel prostupu tepla jsem použil z literatury [15].

Vzorový výpočet pro místnost číslo 1.

Výpočet základní tepelné ztráty:

Dle vzorce (3)

$$Q_{o1} = k \cdot S \cdot (t_i - t_{es}) = 0,37 \cdot 47,28 \cdot (20 - 5) = 262W$$

Tabulka 18. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

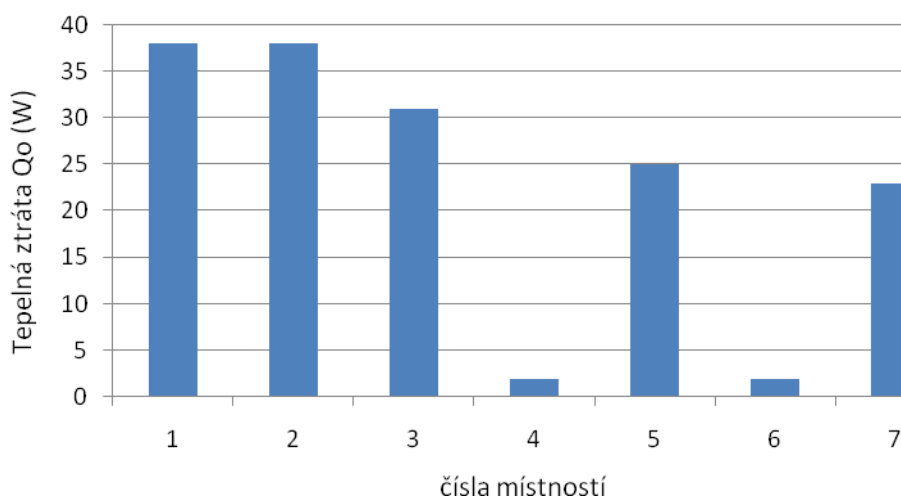
	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	S [m ²]	k [(W/m ² .K)]	Q_o [W]
1.	Ložnice	20	3,2	2,67	0,85	38
2.	Obývací pokoj	20	3,2	2,67	0,85	38
3.	Koupelna	24	3,2	1,76	0,85	31
4.	Spíž	15	3,2	0,18	0,85	2
5.	Kuchyň	20	3,2	1,74	0,85	25
6.	WC	15	3,2	0,18	0,85	2
7.	Předsíň	15	3,2	1,8	1,1	23

Celková tepelná ztráta po zateplení se vypočte jako součet všech vypočtených ztrát v místnostech, které jsou uvedeny v tabulce 18.

Dle vzorce (7)

$$Q_o = Q_{o1} + Q_{o2} + Q_{o3} + Q_{o4} + Q_{o5} + Q_{o6} + Q_{o7} = 38 + 38 + 31 + 2 + 25 + 2 + 23 = 159W$$

Graf 10. Tepelné ztráty přes okna a dveře v místnostech



3.5 Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta se počítá obdobně jako u výpočtu tepelné ztráty větráním stávajícího domu.

Vzorový výpočet pro místnost 1.

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_{es}) = 1300 \cdot 0,00315 \cdot (20 - 3,2) = 68W$$

$$V_{vP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = (0,00012 \cdot 9,54) \cdot 4 \cdot 0,7 = 0,0032m^3 / s$$

$$n = \frac{3600 \cdot \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M}{V_m} = \frac{3600 \cdot 0,00012 \cdot 9,54 \cdot 4 \cdot 0,7}{49,39} = 0,23h^{-1}$$

$$V_{oH} = \frac{n}{3600} \cdot V_m = 0,00315m^3 / s$$

Tabulka 19. Technické vlastnosti místností [2], [3], [4]

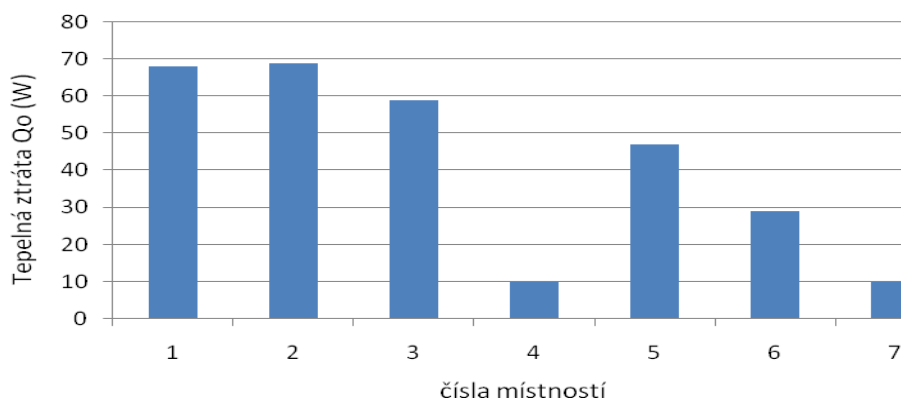
	Místnost	t_i [°C]	t_{es} [°C]	V_m [m ³]	Q_v [W]
1.	Ložnice	20	3,2	49,39	68
2.	Obývací pokoj	20	3,2	54,09	69
3.	koupelna	24	3,2	12,6	59
4.	Spíž	15	3,2	5,04	10
5.	Kuchyň	20	3,2	34,77	47
6.	Předsíň	15	3,2	26,71	29
7.	WC	15	3,2	5,92	10

Tepelná ztráta větráním se vypočítá obdobně jako u výpočtu tepelné ztráty stávajícího domu. Jednotlivé hodnoty tepelných ztrát jsou uvedeny v tabulce 19.

tedy:

$$Q_v = Q_{v1} + Q_{v2} + Q_{v3} + Q_{v4} + Q_{v5} + Q_{v6} + Q_{v7} = 68 + 69 + 59 + 10 + 47 + 29 + 10 = 292W$$

Graf 11. Tepelné ztráty větráním v místnostech



Trvalý tepelný zisk

Tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100W/byt), teplo od lidí (70W/osobu)
 Odhadem podle literatury [6] jsem určil tepelný zisk 170 W.

3.6 Celková tepelná ztráta po zateplení

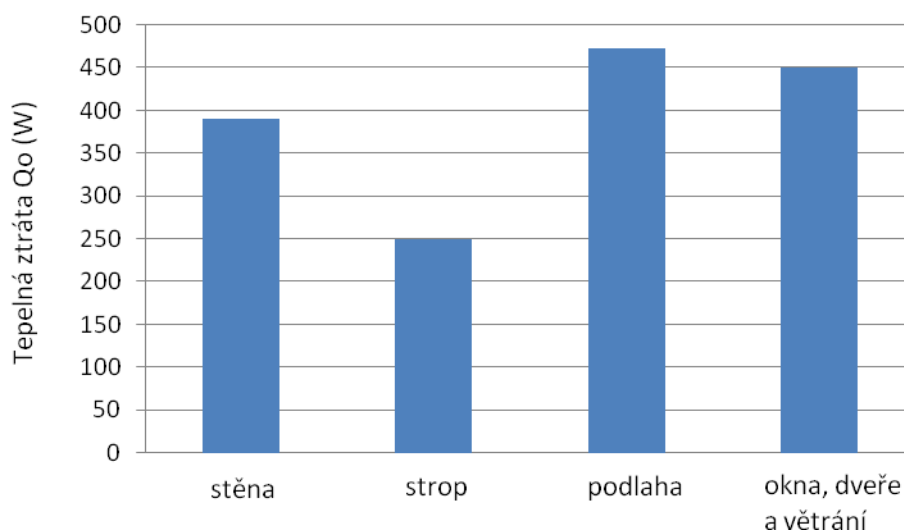
Celková tepelná ztráta Q_c [1] se vypočítá součtem tepelných ztrát prostupem Q_o a tepelných ztrát větráním Q_v , hodnota je snížena o trvalé tepelné zisky Q_z .

Dle vzorce (1)

$$Q_c = \sum (Q_{o.obvodov\u00e9zdi} + Q_{o.stropu} + Q_{o.podlahy} + Q_{o.okna,dve\u0159v}) + Q_v - Q_z$$

$$Q_c = \sum (391 + 250 + 473 + 159) + 292 - 170 = 1395W$$

Graf 12. Tepelná ztráta po zateplení



4. Tepelné a ekonomické zhodnocení navržených úprav

4.1 Množství tepla za rok stávajícího domu

Roční potřeba tepla na vytápění budovy daná stavební konstrukcí budovy a klimatickými podmínkami [16]:

Vytápěcí denostupně:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 222 \cdot (19 - 3,2) = 3508 K.dny \quad (12)$$

kde:

t_{is} je průměrná vnitřní výpočtová teplota, [°C]
 t_{es} průměrná teplota během otopného období. [°C]

Opravný součinitel ε_o

$$\varepsilon_o = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,765 \quad (13)$$

kde:

e_i nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem, [-]
 e_t snížení teploty v místnosti během dne respektive noci, [-]
 e_d zkrácení doby vytápění v objektu s přestávkami provozu. [-]

Potřeba tepla pro vytápění:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 5,689 \cdot 3508}{19 - (-12)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} =$$
$$Q_{VYT,r} = 47,1 GJ / rok \approx 13,1 MWh / rok \quad (14)$$

kde:

η_o je účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy, [%]
 η_r účinnost rozvodu vytápění, [%]
 t_e venkovní výpočtová teplota. [°C]

Výpočtové vztahy (12÷14) uvedené v této kapitole jsou převzaty z literatury [16].

4.2 Množství tepla za rok nově zatepleného domu

Roční potřeba tepla na vytápění budovy daná stavební konstrukcí budovy a klimatickými podmínkami [16]:

Postup výpočtu je použit z výpočtu roční potřeby tepla u stávajícího domu

Vytápěcí denostupně:

dle vzorce (12)

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 222 \cdot (19 - 3,2) = 3508 K \cdot dny$$

Opravný součinitel ε

dle vzorce (13)

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,765$$

Potřeba tepla pro vytápění

Dle vzorce (14)

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 1,395 \cdot 3508}{19 - (-12)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} =$$
$$Q_{VYT,r} = 11,6 GJ / rok \approx 3,2 MWh / rok$$

Rodinný dům má jako typ spalovacího zařízení kotel nízkoteplotní na zemní plyn s účinností 95% [2].

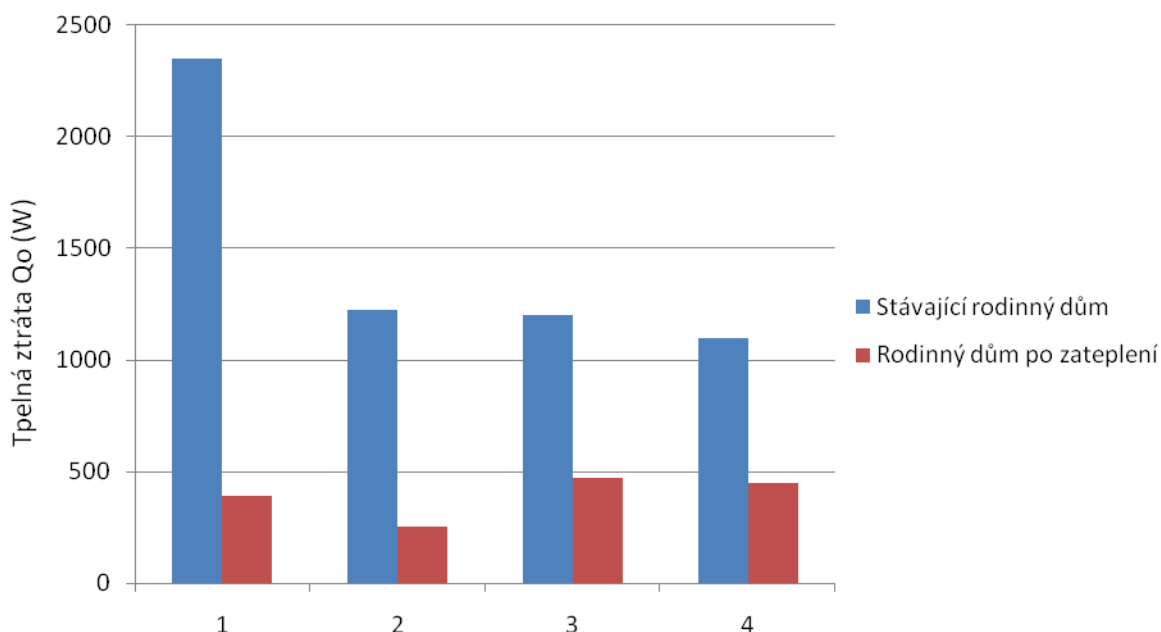
Náklady na vytápění jsou vypočteny z literatury [17]. Hodnota závisí na roční potřebě tepla pro vytápění a na ceně za zemního plynu. Výsledná hodnota nákladů za vytápění se spočte jako součin těchto dvou hodnot. Cena zemního plynu je použita z literatury [17]. Celkový výsledek nákladů na vytápění je uveden v tabulce 20.

Tabulka 20. Náklady na vytápění

	Tepelná ztráta Q_o [W]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{VYT,r}$ [GJ/rok]	Cena tepla [Kč/GJ]	Náklady na vytápění [Kč/rok]
Stávající rodinný dům	5689	47,1	413	19452
Dům po snížení tepelných ztrát	1397	11,6	545	6322

5. Porovnání původní a snížené tepelné ztráty

Graf 13. Porovnání tepelných ztrát



kde:

1 – Tepelná ztráta obvodových zdí, [W]

2 – Tepelná ztráta přes strop, [W]

3 – Tepelná ztráta přes podlahu, [W]

4 – Tepelná ztráta přes okna a dveře a tepelná ztráta větráním.[W]

V grafu 13. je vidět rozdíl v tepelných ztrátách mezi stávajícím rodinným domem a domem po jeho zateplení.

Například u stávajícího rodinného domu je tepelná ztráta obvodových zdí 2351W a u domu po zateplení činí 391W. Hlavním důvodem rozdílů těchto čísel je součinitel prostupu tepla k ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). Zatímco u stávajícího domu je $k = 1,37$ ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), tak u domu po zateplení je $k = 0,22$ ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). A to díky tepelným izolantům, které snižují tento součinitel. Pro součinitel prostupu tepla k platí, že čím nižší jeho hodnota je, tím lepší tepelně izolační vlastnosti konstrukce má.

Zateplení je jedním z hlavních energeticky úsporných opatření. Zateplením dojde ke snížení spotřeby energie na vytápění, což se projeví v provozních nákladech. Kromě ekonomických přínosů má zateplení i pozitivní vliv na zvýšení kvality využití objektu (tepelná pohoda, vlhkost, eliminace výskytu mikroorganismů, atd.).

6. Porovnání provozních nákladů na vytápění před a po snížení tepelné ztráty

Náklady na vytápění jsou vypočteny v kapitole 4. Celkový rozdíl za náklady před a po zateplení činí 13130 Kč/rok, což je hodnota, s kterou se v celkové době návratnosti počítá.

Doba ekonomické návratnosti je výrazně ovlivněna pořizovací cenou za zateplení, která se skládá z ceny za izolační materiály, ale také z lešení, dopravy, práce, zařízení staveniště atd.

Cena za zateplení je použita z literatury [18],[19], [20].

- Pro snížení tepelných ztrát obvodovými zdmi – 29 000 Kč
- Pro snížení tepelných ztrát přes strop – 36000 Kč
- Pro snížení tepelných ztrát přes podlahu – 13000 Kč
- Pro výměnu oken a dveří – 80000 Kč
- Za práci – 60000 Kč

Celková cena za zateplení a výměnu oken a dveří je zhruba 218000Kč.

Doba ekonomické návratnosti se spočítá dle literatury [21]. Je to podíl pořizovacích nákladů za zateplení ku ročním úsporám na vytápění.

Vypočítá se tedy ze vztahu:

Doba návratnosti (roky) = pořizovací náklady (Kč) / roční úspora nákladů na vytápění (Kč/rok)

Doba návratnosti = 218000 / 13130 = 16 let

Celková doba návratnosti mi vyšla zhruba na 16 let. Znamená to, že cena zateplení se mi zúročí v ušetřených penězích za topení a to za dobu 16 let.

7. Závěrečné shrnutí

Mým cílem bakalářské práce bylo snížit tepelné ztráty rodinného domu. V práci jsem se zabýval různými typy tepelných izolací a tepelných vlastností oken, při kterých jsem čerpal zejména z informací dosažitelných na různých internetových stránkách. Dále jsou zde vypočteny tepelné ztráty stávajícího rodinného domu. Při výpočtech jsem postupoval podle normy ČSN 06 0210. Na základě vypočtených tepelných ztrát stávajícího domu jsem provedl návrh možnosti jejich snížení. Uvedl jsem hodnoty celkové tepelné ztráty před a po použití tepelných izolací. Při výměně oken, dveří a použití izolačních materiálů se celková tepelná ztráta objektu snížila z 5689W na 1397W. Další částí práce bylo ekonomické zhodnocení navržených úprav, kde jsem vycházel z celkové tepelné ztráty u stávajícího domu, tak i u domu po zateplení. Z hlediska nákladů na vytápění je rozdíl před a po snížení 13130Kč/rok. Celková návratnost byla vypočtena zhruba na 16 let, což znamená, že cena za zateplení se mi zúročí za tuto dobu.

8. Seznam použitých pramenů

- [1] ČSN 06 0210 – Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
- [2] Technická dokumentace domu
- [3] MRÁZEK, K. – ŠUSTR, K. – JANOUŠ, A.: Moderní vytápění bytů a rodinných domků, 1986
- [4] http://www.levna-tepelna-cerpadla.com/prumerne_tploty.php
- [5] ČSN 73 0540 – 3 – Tepelná ochrana budov – část 3 – návrhové hodnoty veličin
- [6] <http://www.weber-panel.cz/kalkulator/index.html>
- [7] <http://www.setrnebudovy.cz/component/content/article/34>
- [8] http://istavitel.cz/clanek/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80
- [9] <http://www.tzb-info.cz/t.py?i=4695&t=2>
- [10] <http://www.seminarky.cz/detaily-696>
- [11] <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/4.htm>
- [12] <http://www.stavba-online.cz/okna-2/okna-druhy-oken-podle-materialu/>
- [13] ČSN 73 0540 – 2 – Tepelná ochrana budov – část 2 - požadavky
- [14] <http://www.zatepleni-fasad-domu.info/vymena-oken-dveri/>
- [15] <http://www.albo.cz/vchodové-dveře-dv68family/>
- [16] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47>
- [17] http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269&energie_gj=69,7
- [18] <http://www.bydlenisnu.cz/shop/tepelne-izolace/?order=poradi>
- [19] http://eshop.floorwood.cz/Panbex/Samonivelacni-podlahova-sterka-Cembex-U1_g7106.html
- [20] http://www.stavba.cz/upload/product&services/download/ceniky/irasbeton/2010_Cenik_Veltrusy
- [21] <http://www.priprava-stavby.cz/cz/stranka/ekonomicka-navratnost-investice-do-zatepleni/>
- [22] <http://www.sklenarstvi-peskar.cz/izolacni-dvojskla.html>
- [23] <http://www.izolacniskla.cz/produkt.php?skupina=Izolacni-trojskla>

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Radimu Janalíkovi za jeho cenné rady a připomínky při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, kteří mě při studiu podporovali.

Radim Brhel

9. Přílohy

Příloha č. 1: CD obsahující bakalářskou práci